ら、高温に予熱されて柱状晶を形成しないような緩冷にならない限り線状組織を生ずるおそれがある。

線状組織は單なる破面ではなく体積を有している。熔融金属が上記三條件を具備するとき前記のごとく凝固の際に細い柱状晶を生じ粒界に氣孔、脱酸生成物が散在している組織を生ずる。これが線状組織で凝固期間中に形成されるものである。

§ 7 生成の防止

上記の如く生成の條件が明確になつてゐるから、これを防止する條件は自ら決定される。すなわち三條件の一つでも缺ける場合は生成しない。今實際の見地から考察するに次の諸点に留意すればよい。

1. 熔接棒心線は Mn が多く Si の可及的に少ないものがよい。心線を製造するとき Al で脱酸するときはその残量の少ない方がよい。
2. 被覆剤に脱酸剤を加えるとき脱酸剤としてはマンガニ鉄 (Fe-Mn) が適当であり、被覆剤中の SiO_2 全量もあまり高くないように保つ必要がある。
3. 脱酸は行うべきであるが O が 0.03% 程度あれば水素の影響は防止されるから過脱酸に落入らぬ様に考慮すればよい。
4. 脱酸生成物の熔融点が低く鋼の凝固点で液体であればよい。また分散せずに凝結し易いものがよい。軽くて流動性がよく表面張力の適当に小さいものがよい。
5. 急冷により発生するものは予熱を行うと生成を防止出来る。
6. 使用の際被覆熔接棒を乾燥して水分を放出せ

しめるとよい。

7. ガス発生式はセルローズ等より水素を発生するから脱酸生成物が耐火性にならぬ脱酸剤を使用しなければならぬ。また SiO_2 , Al_2O_3 等の量を高めてはいけぬ。

以上の如き諸点に注意すれば線状組織は現れない

結 言

以上五報にわたつて軟鋼電弧熔接部に現れる線状組織について性状、生成條件等を種々なる角度から研究し必要にして充分と考えられる三條件を確認した。従つて生成防止についても個々の熔接棒の特性に應じて決定出来ると思う。

謝 辭

本研究は文部省科学研究費の補助を得て行つた。本研究を実施するに當つて共同研究者はよく分擔事項について熱心に研究した。また種々研究に便宜を與えられた研究所、工場の各位に感謝の意を表する次第である。

文 献

1. 岡田：熔接工学 p. 234

(訂正) 20巻1〜2号論文“軟鋼電弧熔接部に表れる線状組織の研究第1〜4報”英文題目は Ice Flower Like Structure in Metal Deposited by Arc Welding, in Particular Mild Steel と第1報24頁 Fig. 5; 第2報27頁 Fig. 2; 28頁 Fig. 4, 5; 29頁 Fig. 6, 7, 8; 30頁 Fig. 9, 10中の Frost Heaving Structure は Ice Flower Like Structure と訂正します。(著者)

18-8 不銹鋼多層熔着金屬の熱膨脹*

大 西 巖** 井 川 博** 福 園 保 雄**

Thermal Expansions of 18-8 Austenitic Deposit Metal*

By I. Onishi,** H. Ikawa,** Y. Hukuzono**

Abstract

Thermal expansions of 18-8 multiple-deposited metal have been measured by the dilatometer. Thermal expansion of the piled-up direction of beads is the least, compared with other directions, i.e.,

the direction of beads and the direction rectangular to the beads. It is due to the Cr-carbide precipitations along the columnar crystals. On the contrary, thermal expansions of the multiple-deposited metals gained by mild steel electrodes have no unequal properties for the three directions.

I 緒 言

18-8 不銹鋼熔接棒が高炭素の鐵炭素合金, 特殊鋼等の熔接に利用されていることは周知の所である。最近化学工業方面における18-8不銹鋼の使用は特に盛であり, これが熔接には当然18-8不銹鋼熔接棒が使用される。またニッケル資源節約のために18-8 クラウド不銹鋼が出現し実用に供されんとしている。これが熔接には不銹鋼及び軟鋼の熔接棒が表裏相接して使用される。不銹鋼の熱膨脹については既に明かにされているが, 18-8 不銹鋼熔接棒による熔着金属の熱膨脹性に就ては未だ明かでない。特に多層熔着金属においては試料採取方向により熱膨脹性を異にするかも知れない。故に多層熔着金属の3方向(ビードに並行な方向 X, それに直角な方向 Y, ビードの重りの方向即ちビードの上下に亘る方向 Z)の熱膨脹性を求めた。更に同様な試験を軟鋼の多層熔着金属に対しても行い比較に供した。

II 熔着金属及び試験片の作製

芯線直径 4mm の市販の 18-8 不銹鋼被覆熔接棒をもつて肉厚軟鋼板上に 80×80×80mm の大きさの全熔着金属を造つた。熔着方向は各ビードとも同一方向で, 1 ビードの熔着が終る毎に表面及び附近を清掃して次のビードを置く様にした。最底层ビードの熔着が終れば最初に熔着した最端部ビードの上層へ。

* 原稿受付 昭和25年12月

** 正員, 大阪大学工学部 Member, Faculty of Engineering, Osaka University.

X 軸方向
(X2, X4 の平均値)

Y 軸方向
(Y2, Y3 の平均値)

Z 軸方向
(Z1, Z3 の平均値)

第2図 X, Y, Z. 軸方向の熱膨脹曲線

熔着し, 順次これを繰返して多層熔着金属を得た。

熔接電流は交流 130~140A, 電弧電圧 22~25V, 上下の層数は 36~38 である。試験片の作製は, 第1図の如く熔着金属を切断し, ビードに並行な方向, それに直角な方向, ビードの重りの方向即ちビードの上下の方向の3枚を採取し, 各板より直径 5mm 長さ 50mm の熱膨脹試験用供試材を4本ずつ採取した。なほこの 18-8 不銹鋼多層熔着金属の分析結果は炭素 0.12%, クローム 18.26%, ニッケル 8.08% であった。

第1図 熔着金属及び供試材の作製要領

III 熱膨脹試験

熱膨脹測定には佐藤式熱膨脹計を使用した。実験中には 10^{-3} mmHg 程度の真空を保ち, 加熱速度は $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 位で, 900°C 迄加熱し測定した。全膨脹を測定した供試材はビードに並行な X2, X4, これ

第3図

X, Y, Z 軸方向の熱膨脹曲線の比較

に直角な方向 Y2, Y3, 及びビードの上下の重り方向 Z1, Z3, の各々2本ずつである。

熱膨脹曲線は第2図の如く、又線膨脹係数は第1表の如くである。又各軸方向に於ける熱膨脹曲線を

あるに反してZ軸方向に最も小さい原因を明らかにするため次の試験を行つた。すなわちX軸方向の

試験供試材 X2, Y軸方向 Y3, Z軸方向 Z1, を塩化バリウム融液中にて 1150°C, 30分間加熱し水冷し

第1表 18-8 不銹鋼多層熔着金属の線膨脹及び線膨脹係数

温度°C	X軸方向(ビードに並行な方向) x2, x4 の平均値				Y軸方向(ビードに直角の方向) y2, y3 の平均値				Z軸方向(ビードに上下重り 方向) z1, z3 の平均値			
	線膨脹 $\frac{\Delta l}{l} \times 10^{-3}$ mm/mm		線膨脹係数 $\times 10^{-6}$ mm		線膨脹 $\frac{\Delta l}{l} \times 10^{-3}$ mm/mm		線膨脹係数 $\times 10^{-6}$ mm		線膨脹 $\frac{\Delta l}{l} \times 10^{-3}$ mm/mm		線膨脹係数 $\times 10^{-6}$ mm	
	加熱	冷却	加熱	冷却	加熱	冷却	加熱	冷却	加熱	冷却	加熱	冷却
0~100°C	1.52	—	15.2	—	1.39	1.92	13.92	—	1.26	1.44	12.6	14.4
0~200°C	3.45	4.93	17.2	24.6	3.14	4.32	15.85	21.57	2.93	3.15	14.9	15.7
0~300°C	5.76	6.81	19.3	22.6	5.37	6.09	17.9	19.82	4.84	4.98	16.1	16.6
0~400°C	8.17	8.76	20.1	21.9	7.58	7.95	18.96	19.9	6.83	6.98	17.1	17.3
0~500°C	10.37	10.71	21.2	21.4	9.65	9.83	19.31	19.65	8.83	8.84	17.7	17.66
0~600°C	12.51	12.69	20.7	21.6	11.88	11.94	19.80	19.9	10.90	10.81	18.14	18.2
0~700°C	14.88	14.76	21.2	21.0	14.31	14.22	20.45	20.33	12.71	12.81	18.6	18.3
0~800°C	17.19	17.16	21.5	21.5	16.53	16.44	20.7	20.55	15.06	14.89	18.8	18.6
0~900°C	19.33	19.33	21.4	21.9	18.84	18.84	21.05	21.05	17.10	17.10	19.0	19.0

比較してみると第3図の如くなる。

第2図, 第1表は各軸方向の2本ずつの供試材の熱膨脹及び線膨脹係数の数値を平均して表わしたものである。

試験結果よりみればX軸の方向, すなわちビードに並行な方向が最もよく膨脹し, 線膨脹係数も大きい。次いでY軸方向, すなわちビードに直角な方向がこれに極めて接近し, Z軸方向すなわちビードの上下の重り方向の熱膨脹は最も小さい。このX軸或はY軸方向に最も大きく膨脹し, 線膨脹係数大で

た。又X軸方向 X3, Y軸方向 Y4, Z軸方向 Z4, を真空中で 800°C 1時間焼鈍し炉冷した。顕微鏡組織によりこれ等の炭化クロムを溶解或は析出せしめたと認められる所の供試材について熱膨脹を示差熱膨脹計により測定した。その結果は第4図に示す如くである。この場合の加熱速度は 1.5°C/min 前後である。

IV 実験結果の考察

18-8 不銹鋼多層熔着金属の熱膨脹試験結果は第3図に示す如く, X軸の方向すなわちビードに並行な方向に最も大きく膨脹し, 次にY軸方向すなわちビードに直角の方向がX軸に近く膨脹し, Z軸方向すなわちビードの上下重り方向(垂直方向)の膨脹は最も小さい。すなわち柱状晶発達方向は最も膨脹し難いということになる。

一般に18-8 オーステナイト不銹鋼を徐々に加熱する場合 500°C 以下の温度範囲ではクロム炭化物の析出は緩慢であるが, 500°C 以上 700°C 位になると炭素の拡散が速かになり細い炭化物が粒間に連続して析出する。従つて

第4図 1150°C, 800°C で熱処理した供試材の示差膨脹曲線

クロームと炭素の含有量がその両側で低下し、又ニッケルは炭素を奪われて生じるフェーライトよりもオーステナイトに多く溶解するので炭化物の両側はニッケル量を低下する。又この温度範囲に於てはオーステナイトから拡散して来るクロームとニッケルの拡散速度は遅い。又 $700\sim 900^{\circ}\text{C}$ の温度範囲では炭化物が析出してその附近のクローム量が減じ炭化物の微細粒が凝集すると共にクロームとニッケルの拡散速度が大となつて来る。 900°C 以上になると次第に炭化物は溶解して行くと考えられている。

示差膨脹測定結果より 1150°C 30 分間加熱水冷した場合、X 軸方向 (X2) は $500^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ 温度範囲に膨脹を示している。又 Y 軸方向 (Y3) においてや、 700°C 前後に膨脹を示している。Z 軸方向 (Z1) は全く膨脹を示していない。前述した如く、これはクローム炭化物の析出による影響であらうと考えられる。元來 18-8 不銹鋼熔着金属は変態を起さないために軟鋼の多層熔着金属と異り、下層の柱状晶は上層の熔着熱により消失することなく最底层から最上層まで連続して発達している。従つてクローム炭化物は先づ結晶粒界に析出するものとすれば柱状晶発達方向すなわち Z 軸方向にはクローム炭化物の析出による影響は少いと考えられる。故に Z 軸方向は、X 軸方向、Y 軸方向に対して熱膨脹、及び線膨脹係数は小さくなる。又 X 軸方向、Y 軸方向の熱膨脹、線膨脹係数は大体接近した値である。第 4 図の X2, Y3, の $500\sim 800^{\circ}\text{C}$ 温度範囲の熱膨脹曲線の変化はクローム炭化物の析出による膨脹であると考えられる。 800°C 1 時間焼鈍炉冷したものは同じ第 4 図に示す如く、殆ど直線的である。これは 800°C の長時間加熱によりクローム炭化物の析出は既に終つているので示差膨脹には変化は現われなかつたものと考えられる。

次に 18-8 不銹鋼多層熔着金属の各軸方向の断面の顯微鏡写真を第 5 図に示す。

第 6 図は全膨脹測定後 1150°C 30 分間加熱水冷した供試材を示差膨脹試験した後の顯微鏡写真、第 7 図は 800°C 1 時間焼鈍炉冷し、示差膨脹試験を行つた後の顯微鏡写真、第 8 図は X 軸方向の供試材を 1150°C 30 分間加熱水冷 (A) した後、 300°C (B), 600°C (C), 750°C (D), 900°C (E) に各々 30 分間焼鈍後水冷した場合の顯微鏡写真である。 600°C

A

B

C

A X 軸方向縦断面 $\times 500$ B Y 軸方向縦断面 $\times 500$ C Z 軸方向横断面 $\times 500$

腐蝕液：硫酸銅塩酸溶液

第 5 図 18-8 不銹鋼多層熔着金属の各軸方向断面の顯微鏡写真

A X軸方向縦断面 ×500
B Y軸方向縦断面 ×500
C Z軸方向横断面 ×500
腐蝕液：硫酸銅塩酸溶液

第6図 1150°C 30分間加熱後水冷熱膨脹試験を行った後の顕微鏡写真

A X軸方向縦断面 ×500
B Y軸方向縦断面 ×500
C Z軸方向横断面 ×500
腐蝕液：硫酸銅塩酸溶液

第7図 800°C 1時間焼鈍折冷熱膨脹試験を行った後の顕微鏡写真

A 1150°C 30分間加熱水冷 ×500
 B 300°C 30分間焼鈍後水冷 ×500
 C 600°C 30分間焼鈍後水冷 ×500
 D 750°C 30分間焼鈍後水冷 ×500
 E 900°C 30分間焼鈍後水冷 ×500
 腐蝕液：硫酸銅塩酸溶液

第8図 X軸方向の供試材を各温度で
 処理した場合

V 軟鋼多層熔着金属の熱膨脹性

18-8 不銹鋼被覆熔着棒の代りに芯線直径 4mm の被覆せる市販の軟鋼用熔着棒を以て前記同様の多層熔着鋼を作製し、これより X 軸方向（ビードに並行な方向）Y 軸方向（ビードに直角な方向）Z 軸方向（ビードの上下の重り方向）の 3 方向より 2 本づつの供試材を採取した。熔着金属の炭素含有量は 0.08~0.1% であった。

熱膨脹試験は前記同様全膨脹を測定し、温度は変

前後からクロム炭化物の析出が現われ 750°C~900°C 温度範囲で最も多く析出していることがこれにより知り得る。

態点に達しない 600°C 迄を試験した。加熱速度は 3°C/min として 10⁻³mmHg の真空中で行った。第9図は各軸方向の2本ずつの供試材の測定値を平均せる熱膨脹曲線である。これらの3軸方向の熱膨脹曲線を比較して示せば第10図の如くなる。第2表はこれらの線膨脹係数を示す。

軟鋼の熔着金属は第1層目は柱状晶を呈するが、この上層に更に熔着鋼を重ねた場合には熔着熱で下層の柱状晶は消失する。この点 18-8 不銹鋼多層熔着金属の場合とその趣を異にしている。

熱膨脹及び線膨脹係数は第9図又は第10図並に第2表に示す如く、X軸方向(ビードに並行な方向)が最も大きく、Y軸方向(ビードに直角な方向)がその次に位し、Z軸方向(ビードの上下の重り方向)が最も小さくなっている。併し、Y軸方向とZ軸

軟鋼の熱膨脹係数は可逆的性質を有し、加熱、冷却に於てその変化の温度は著しくないが、膨脹、収縮の往復線の位置が熔着鐵と軟鋼とに於いて上下を異にしている。又熔着鐵のビードに並行な方向の熱膨脹係数がこれに直角な方向のそれより大であると報告されている。

著者等の実験には更にZ軸方向の値をも求めているが実際的にはY軸方向とZ軸方向の線膨脹係数は殆ど等しく、且つX, Y, Z, 軸方向全体として熱膨脹の差異は殆どないと見做して差支えない程度である。これは第10図からも了解し得る所である。

VI 結 言

18-8 不銹鋼及び軟鋼の多層熔着鋼についてその熱膨脹性を X, Y, Z 軸の3軸方向より測定し、こ

第9図 軟鋼多層熔着金属の X, Y, Z 軸方向の熱膨脹曲線

第10図 X, Y, Z 軸方向の熱膨脹曲線の比較

第2表 軟鋼多層熔着金属の線膨脹及び線膨脹係数

温度 °C	X 軸方向(ビードに並行な方向) xx3, xx4 の平均値				Y 軸方向(ビードに直角な方向) yy3, yy4 の平均値				Z 軸方向(ビードに上下重り方向) zz3, zz4 の平均値			
	線 膨 脹 $\frac{\Delta l}{l} \times 10^{-3}$ mm/mm		線膨脹係数 $\times 10^{-6}$ mm		線 膨 脹 $\frac{\Delta l}{l} \times 10^{-3}$ mm/mm		線膨脹係数 $\times 10^{-6}$ mm		線 膨 脹 $\frac{\Delta l}{l} \times 10^{-3}$ mm/mm		線膨脹係数 $\times 10^{-6}$ mm	
	加熱	冷却	加熱	冷却	加熱	冷却	加熱	冷却	加熱	冷却	加熱	冷却
50°~100°C	0.67	0.72	13.59	14.405	0.63	0.63	12.619	12.238	0.53	0.56	10.475	11.437
50°~200°C	2.13	2.23	14.197	14.341	2.02	2.06	13.453	13.765	1.90	1.91	12.695	12.767
50°~300°C	3.63	3.73	14.412	14.904	3.48	3.50	13.929	14.054	3.33	3.41	13.357	13.666
50°~400°C	5.17	5.24	14.796	14.750	4.94	4.97	14.166	14.266	4.86	4.91	13.894	14.048
50°~500°C	6.74	6.74	14.992	15.000	6.47	6.46	14.378	14.431	6.40	6.44	14.244	14.339
50°~600°C	8.36	8.36	15.195	15.195	8.01	8.01	14.577	14.577	7.99	7.99	14.512	14.512

方向の線膨脹係数は殆ど同じ程度である。

又故氏家竹次郎氏*は X 軸方向, Y 軸方向の2方向のみの熱膨脹試験を行はれた。その結果熔着鐵と

これらの値を明かにした。軟鋼多層熔着鋼に於ては方

* 参考文献: 氏家竹次郎氏一学振報告 X1

"軟鋼及び熔着鐵の熱膨脹及び収縮係数"

向による熱膨脹性の差異は X 軸方向が他の軸方向に比し僅かに大であるが全体的に著しい方向性は有していない。

18-8 不銹鋼多層熔着金属に於ては X 軸, Y 軸方向に対し明に Z 軸方向の熱膨脹及び線膨脹係数は小である。この原因は柱状結晶周辺におけるクローム炭化物の析出によるものと考えられる。又 X

軸, Y 軸方向の線膨脹係数は大体同じ値を示している。

本研究は文部省科学研究費の援助によつてなされたものであり、試料の作製に御助力下さつた藤永田造船所、酒井鐵工所、太陽鋼業所に厚く御礼申し上げます。

熔 接 熱 應 力 の 圖 式 解 法 (第3報)*

— 薄 板 熔 接 の 歪 取 り —

大 谷 碧** 兼 松 圭 三***

Graphical Solution of Thermal Stresses by Welding (Reprt III)*

— On the removal of distortions in welded thin plate structures —

By M. Otani,** K. Kanematsu***

Abstract

It is usually adopted to spot heat the warped plate by oxyacetylene flame followed by subsequent water cooling, in order to remove distortions in welded thin structures. The purpose of this report is to explain the theoretical foundations of this practice, and at the same time determine the best condition of heating operations.

The experiments were made about the models shown in Fig. 1, and test results analysed theoretically. The thermal stress due to temperature changes were elastically calculated at first, and then corrected by the graphical method considering plastic yieldings around the locally heated part. Using thus determined stress distributions, the displacement δ could be calculated during heating and cooling by trial method taking the minimum strain energy condition, accordingly the amounts of removable distortions were determined. In those calculations, the mean values of mechanical constants (Young's modulus, yielding stress, coefficient of thermal expansion) were adopted for each small temperature intervals to derive the accurate results. As in Figs. 4 and 5, the good coincidences were indicated between the test results and calculated values. Finally, the following conditions were theoretically determined to be most recommendable:

heating temperature	500~550°C
radius of heating	20~25mm
pitch of heated spots	57~70mm

緒 論

薄板構造物では、工作に細心の注意を拂つても、熔接作業により或程度の歪が生ずるのは止むを得ぬことであつて、組立後の歪取り作業を必要とする場合が多い。この歪取り作業の一つとして普通行われているのは、いわゆる「お灸」を据える方法で、適当な箇所を局部的に加熱・水冷することにより板を

緊張せしめて歪をとる。灸据作業にも2種類あり、第1は局部を赤熱状態まで加熱した後、該部を槌打してできるだけ正形に復せしめ、しかる後更に水冷

* 原稿受付 昭和25年12月

** 正員、鐵道技術研究所 Member, Railway Technical Laboratory.

*** 正員、日本車輌株式会社 Member, Nippon Sharyo K.K.